

# Réduction des GES dans les transports

*Jacques Masurel*

*Sauvons le Climat*

# Décarboner les transports

I - Les transports face à la contrainte climatique

II - Les transports non routiers

III - Les transports routiers

Quelques alternatives

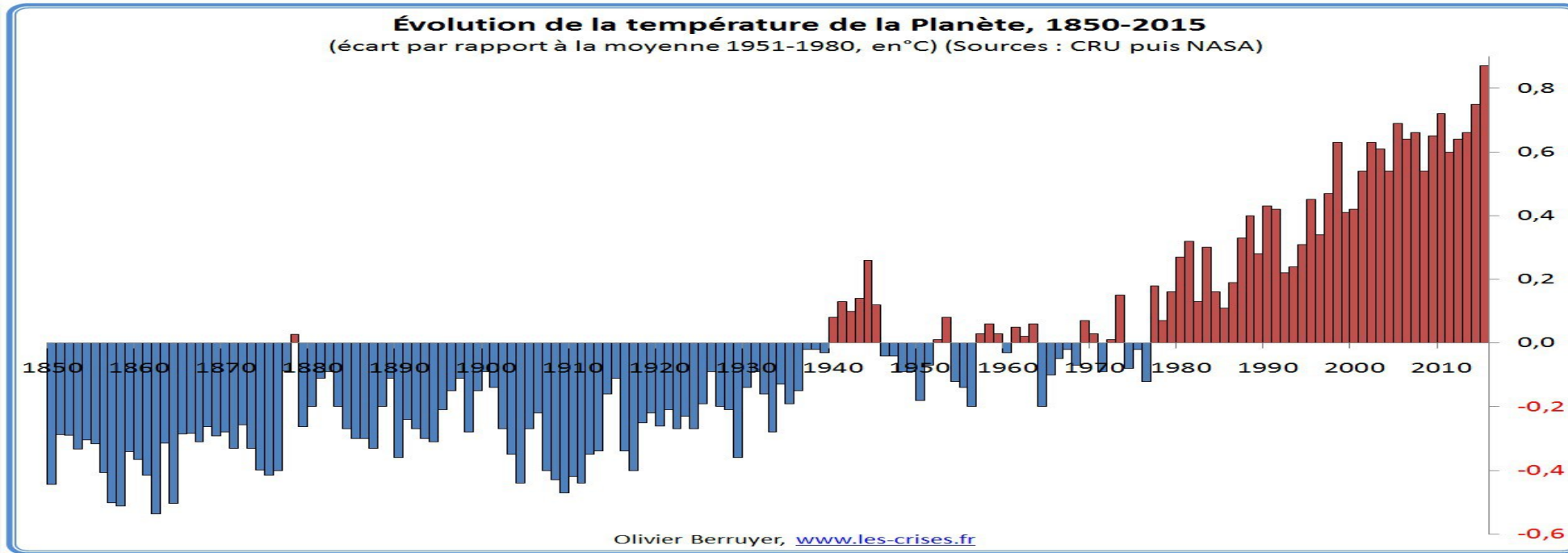
L'électricité et les formules hybrides

L'hydrogène

IV - Quel futur ?

# I - La contrainte climatique

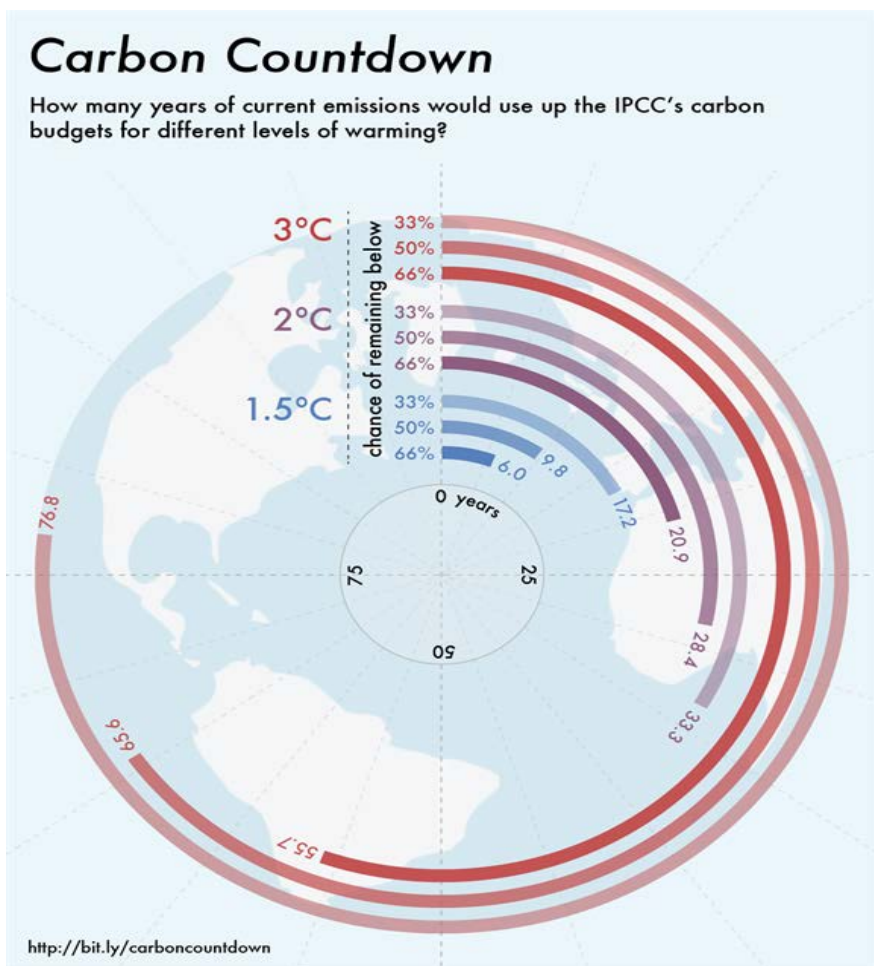
## Le réchauffement, un phénomène qui s'accélère



- ▶ 2019 rapport intermédiaire du GIEC
- ▶ Lien avec le développement industriel. Origine anthropique du phénomène
- ▶ Le réchauffement dépend de la quantité totale de CO2 qui a été émise
- ▶ Au-delà de 3° risque de voir le réchauffement s'auto entretenir (permafrost / clathrates)

# I - La contrainte climatique

## Combien de temps nous reste-t-il ?



### Changement climatique "naturel"

6/37

#### Aujourd'hui



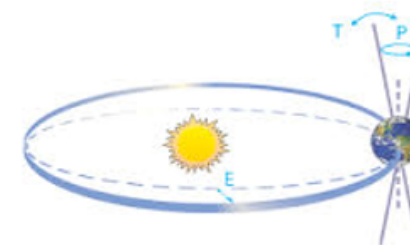
#### Période glaciaire



Il y a 20 000 ans, période glaciaire. 3 km de glace sur Scandinavie et Canada, océan 120 m plus bas que aujourd'hui.

Température 5° C plus froide que aujourd'hui

Changement climatique attendu équivalent, mais en 100 ans (pas pour le niveau des mers)

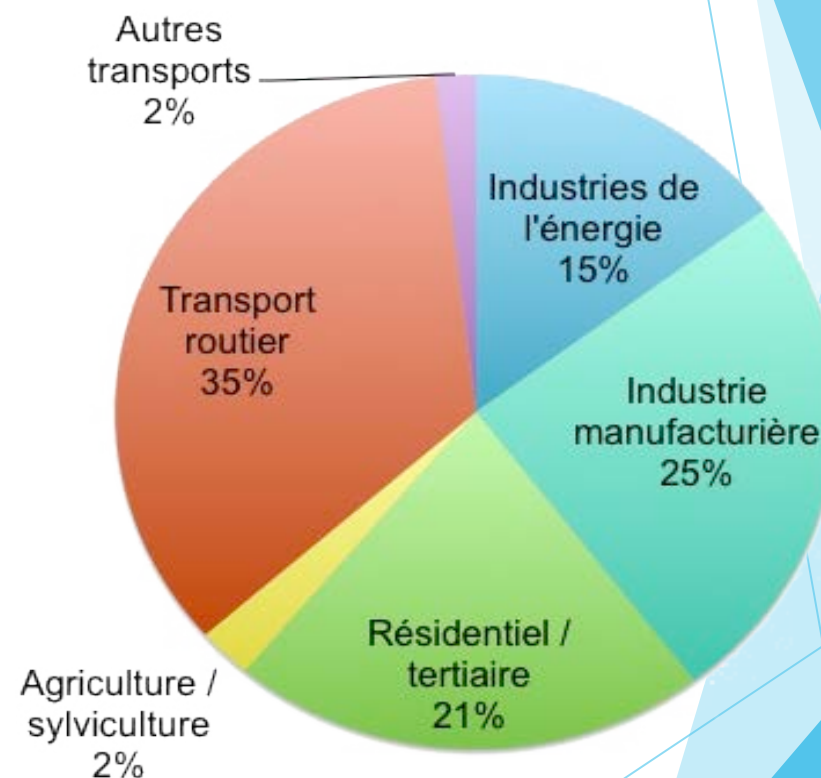
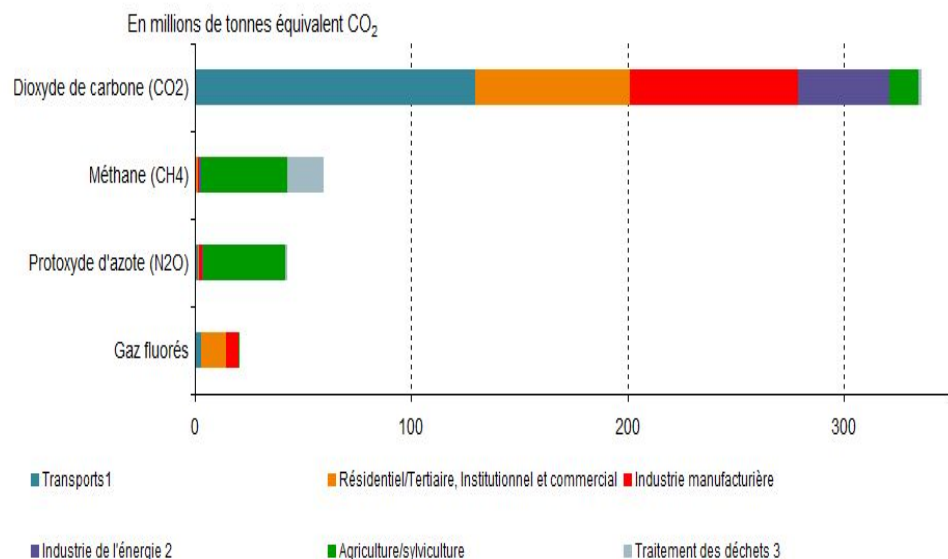


Le graphique montre par exemple qu'avec une probabilité de 66% nous ne disposons que de **20 ans** pour contenir le réchauffement sous la barre des 2 degrés et **55 ans** pour celle des 3 degrés.

# I - La contrainte climatique

## La part des transports (France)

Part des secteurs d'activités dans les émissions de gaz à effet de serre (GES) en 2014



Notes : hors utilisation des terres, leur changement et la forêt ; les % présentés sont calculés à partir des quantités de GES exprimées en équivalent CO<sub>2</sub> ; <sup>1</sup> trafic domestique uniquement ; <sup>2</sup> y compris incinération des déchets avec récupération d'énergie ;

<sup>3</sup> hors incinération des déchets avec récupération d'énergie.

Champ : France métropolitaine et outre-mer hors pays et territoires d'outre-mer.

Source : Citepa, inventaire CCNUCC (format plan climat), mai 2016

## II - Les transports non routiers

### Les transports aériens



Bio-Kérosène



Electricité



solaire

- ▶ Dans le meilleur des cas la consommation par passager est de l'ordre de 5 l/100 km
- ▶ Aujourd'hui 3% des émissions mondiales de CO<sub>2</sub>. Doublement attendu d'ici 15 ans.
- ▶ Peu de progrès possibles :
  - Kérosène remplacé par bio-kérosène (les biocarburants devraient être réservés à l'aviation)
  - Electricité pour petits aéronefs sur petits parcours ?
  - Hydrogène
  - traction électrique électrique sur taxiway ??

# II - Les transports non routiers

## Les transports maritimes



Le vent



Le nucléaire

- ▶ Le transport maritime est à l'origine de plus de 4 % des émissions de CO2 mondiales annuelles.
- ▶ Un accord a été signé dans le cadre de l'Organisation maritime internationale pour diminuer les rejets de gaz à effet de serre. Le texte vise à réduire "d'au moins 50 %" les émissions de CO2 du transport maritime d'ici 2050 par rapport au niveau de 2008.
- ▶ Progrès possibles :
  - Le gaz / le nucléaire / la voile
  -

# II - Les transports non routiers

## Le ferroviaire



Charbon



Pétrole



Electricité

- ▶ Un transport décarboné si la source d'électricité l'est
- ▶ Aux USA essentiellement diesel et transport de fret
- ▶ En France essentiellement électricité et transport de passager. Report modal
- ▶ L'électrification des lignes à faible trafic n'est pas rentable. / Bus électrique
- ▶ Progrès possibles : pour les « petites lignes » trains à batterie de Bombardier ou à hydrogène d'Alstom.



# III - Les transports routiers

## Les alternatives au pétrole

- ▶ *Rappel : Les transports routiers représentent 35 % des émissions de CO2 française et 90 % des émissions du secteur des transports.*
- ▶ **Les différents modes de propulsion**
  - ▶ Les muscles et la traction animale
  - ▶ L'air comprimé
  - ▶ Les biocarburants
  - ▶ L'électricité
  - ▶ L'hydrogène

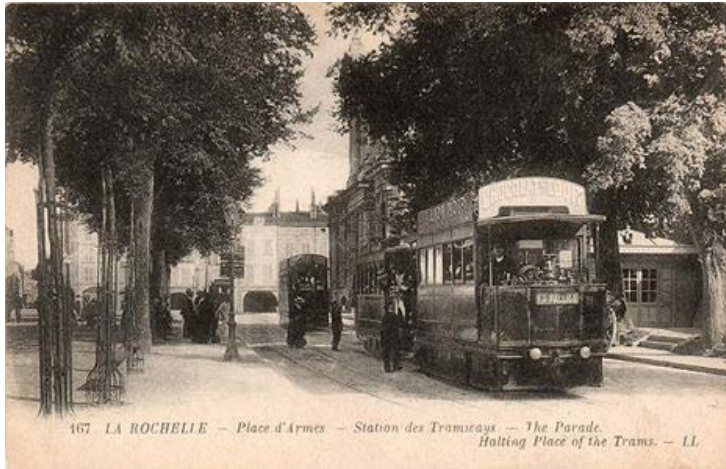
# Vecteurs énergétiques et transports

- ▶ Sources d'énergie et vecteurs énergétiques
- ▶ Les principaux vecteurs « propres » et leurs rendement.
  - ▶ L'électricité (85 %)
  - ▶ L'hydrogène (30 %)
  - ▶ L'air comprimé (très faible 10 à 15 %)

L'hydrogène et l'air comprimé demandent de l'électricité pour être produits.

# III - Les transports routiers

## L'air comprimé



Tramway Mekarski (La rochelle)



Locomotive



Prototype TATA / MDI

**Avantages :** Coût du réservoir  
Nombre de cycles de recharge très élevé  
Simplicité / fiabilité

**Inconvénients :** Faible autonomie, faible rendement.

# III - Les transports routiers

## Les bio-carburants

### Plusieurs filières de production

- ▶ Huile → biodiesel
- ▶ Alcool → bioéthanol
- ▶ Gaz → biométhane

### De graves limites

- ▶ Une question générale : faut-il brûler de la biomasse ?
- ▶ Bilan carbone discutable (filière alcool)
- ▶ Compétition avec les cultures vivrières
- ▶ Impact sur la biodiversité
- ▶ A l'usage impact sanitaire similaire à ceux des produits pétroliers

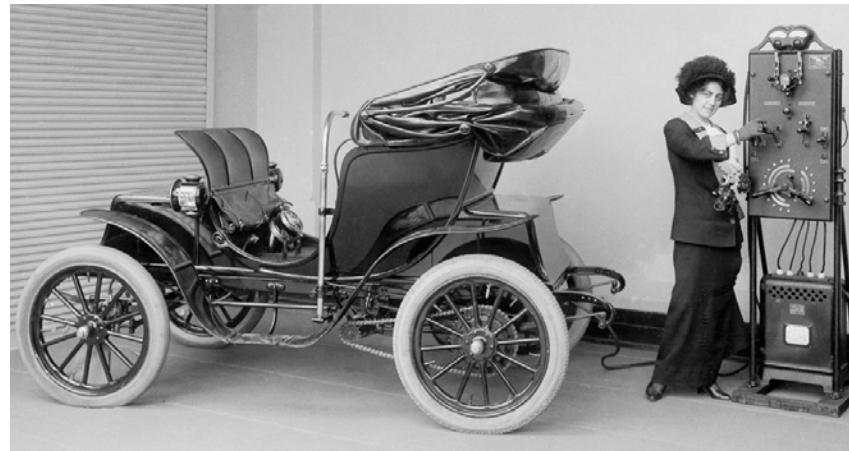
### Quel futur ?

- ▶ Biogaz à partir de déchets (quantité très limitée)
- ▶ Microalgues ???

# III - Les transports routiers

## Les voitures électriques

*Ce n'est pas vraiment nouveau...*



# III - Les transports routiers

## Les voitures électriques 1)

### Avantages :

- ▶ Excellent rendement (plus de 3 fois celui d'un moteur thermique) / freinage
- ▶ Absence de pollution locale / selon l'origine de l'électricité absence de pollution
- ▶ Simplicité mécanique / Silence confort
- ▶ Contribue à l'indépendance énergétique

### Inconvénients :

- ▶ Problématique des recharges
- ▶ Coût des batteries \*\*
- ▶ Poids et capacité des batteries \*\*
- ▶ Impact environnemental (cobalt /recyclage) mais surtout :

... d'où provient l'électricité...

# III - Les transports routiers

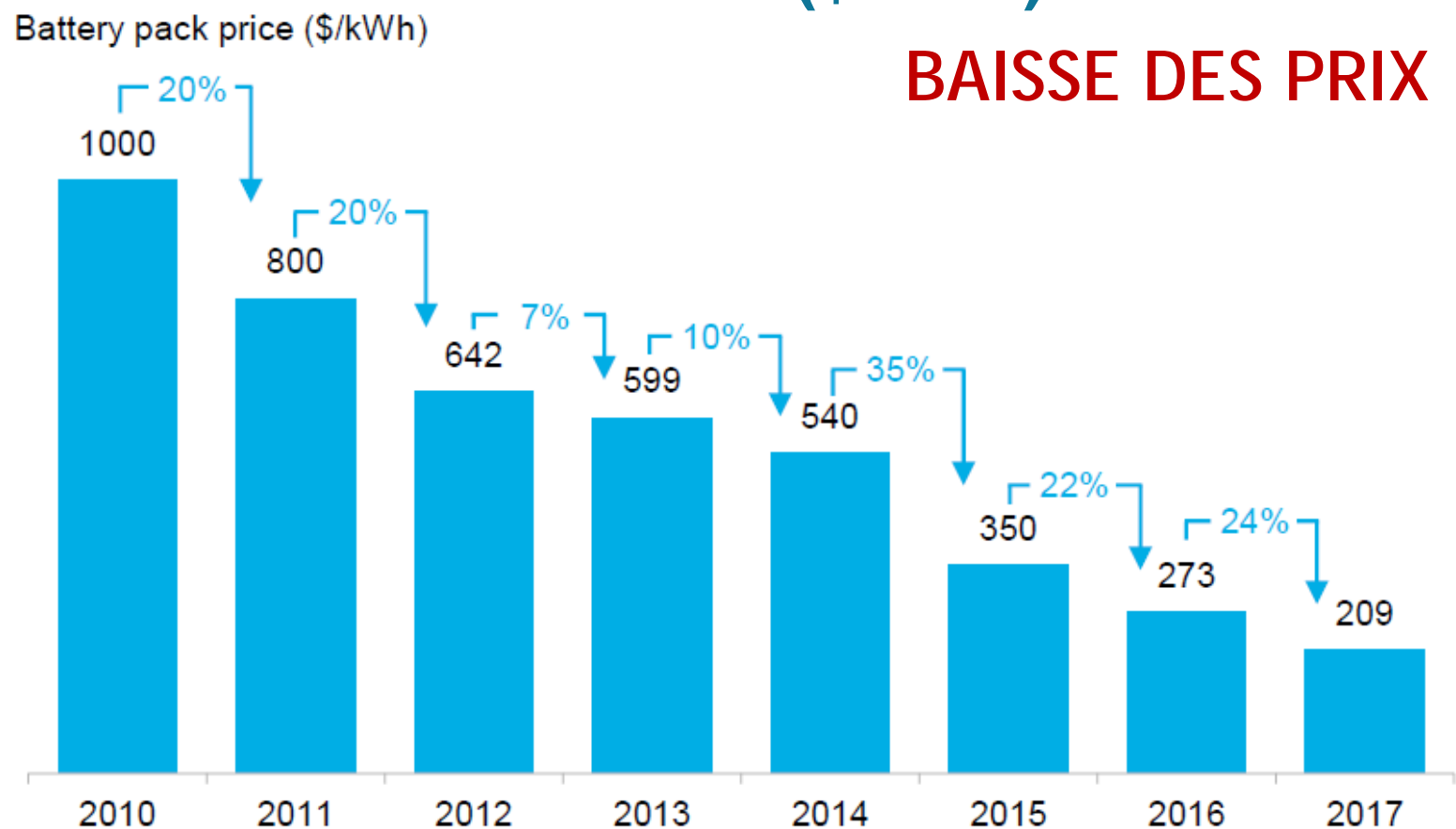
## Les voitures électriques 2)

### *Les « sources » d'électricité*

- Les énergies « fossiles » (charbon / gaz / pétrole)
- La biomasse
- Les énergies renouvelables « Electriques »
- Le nucléaire

### *Energie, puissance et stockage*

# Evolution du coût des batteries au lithium (\$/kWh)



Source: Bloomberg New Energy Finance. Note: Prices are a weighted average for BEV and PHEV and energy storage and include both cells and packs. As of 2017, cell prices were around \$147/kWh

ce,



# HAUSSE DES PERFORMANCES !



1<sup>ère</sup> version Renault Zoé : pack batterie LG 23 kWh 275 Kg  
120 km < autonomie < 200 km

Version Renault Zoé (2019) : pack LG 45 kWh 300 kg  
Autonomie 350 km

## III - Les transports routiers

### Voiture électriques : la problématique des recharges (3)

Deux freins sérieux :

#### Les copropriétés et les « droits à la prise »

Les logements collectifs nouvellement construits ont désormais obligation de pré-équiper 10% des emplacements pour accueillir des dispositifs de charge.

Dans les logements anciens, le syndicat des co-propriétaires représenté par le syndic doit réagir dans les 6 mois. Il ne peut refuser l'autorisation mais peut refuser de prendre les frais de branchement à sa charge.

#### Les recharges « rapides »

La multiplication sur un même site d'un grand nombre de bornes rapides (50 à 200 Kw...) implique de très fortes puissances. Des systèmes contraignants de réservation vont devoir s'imposer.

# III - Les transports routiers

## Voitures électriques : quelques points de repère (4)

- ▶ Cycle de vie : en France, une la voiture électrique émet 80 % de CO<sub>2</sub> en moins que les voitures thermiques. Bilan neutre en Allemagne.
- ▶ Prix du stockage du KWh en \$ par KWh en 2010 : 1000 \$ ; en 2017 : 209 \$ Avenir proche 100 \$\*
- ▶ Prix actuel des cellules en \$ par KWh 147 \$ (toutes importées d'Asie). Aujourd'hui aucune usine de fabrication de cellules en Europe. Plusieurs projets.
- ▶ Gigafactory Tesla - Panasonic : 5 milliards de \$ pour une production de 35 GWh (500 000 véhicules)
- ▶ Priorité des 10-15 prochaines années : amortir les Gigafactory. On ne changera probablement pas beaucoup les matériaux utilisés. Les gains porteront surtout sur l'agencement des cellules (BMS).
- ▶ Pour une batterie de 50 KWh il faut 18 Kg de Cobalt, 6 kg de Lithium, 31 kg de Nickel et du cuivre. Les progrès réalisés dans l'extraction du lithium devraient permettre de repousser sa criticité à 2030-2035.
- ▶ La Chine détient le quasi-monopole du raffinage du cobalt (80 % de la production du Congo)
- ▶ Les batteries lithium sont recyclable à 95 %. Problématique de l'industrialisation du recyclage.
- ▶ L'électrification de la moitié du parc français (16 millions de véhicules sur 32 millions) permettrait de réduire d'environ 15% de la consommation d'énergies fossiles et la facture pétrolière de 4,5 milliards d'Euros (base de 50 \$/baril).

# III - Les transports routiers

## Les voitures hybrides (5)

Une vieille et grande famille...

Traits communs : combiner électricité et essence

On peut distinguer :

- ▶ Les hybrides série : le moteur électrique assure seul la propulsion
- ▶ Les hybrides parallèles : les moteurs sont reliés au même arbre. L'informatique joue un rôle dominant \*\*
- ▶ Les hybrides rechargeable (PHEV), qui peuvent être série ou parallèle, mais sont rechargeables en électricité depuis une source externe.

Toutes les hybrides récupèrent de l'énergie lors du freinage (freinage régénératif)

*En hybridant un véhicule à moteur thermique on peut obtenir des réductions de consommations de l'ordre de 10 à 30 % en ville (taxis).*



Automobile Pieper en 1900 avec une propulsion essence-électrique

# III - Les transports routiers

## L'hydrogène

Un véhicule électrique dont les batteries sont remplacée par une pile à combustible alimentée avec de l'hydrogène.

Avantages :

- ▶ Autonomie
- ▶ Vitesse de charge

Inconvénients :

- ▶ Dangereux de l'hydrogène
- ▶ Rendement médiocre
- ▶ Coût des piles à combustible.
- ▶ Coût de l'hydrogène s'il est produit par électrolyse et non à partir du pétrole

*Note : l'hydrogène peut également être utilisé comme un gaz normal dans un moteur à explosion.*



# III - Les transports routiers

## Les poids lourds

Plusieurs techniques permettent de dépasser les limitations imposées par les batteries :

- ▶ Sur des circuits prédéfinis (bus urbains) des techniques de « biberonnage ».
- ▶ Sur de longs trajets l'autoroute électrique, un concept hybride entre le rail et la route qui prend le meilleur des deux systèmes.

Elle permet une réduction considérable des émissions de CO2 et préserve la grande souplesse des poids-lourds qui est très largement plébiscitée par les entreprises.



# IV - Pourquoi décarboner les transports

## Conclusion

Parce que :

- ▶ C'est une nécessité
- ▶ On peut le faire

Mais les ressources minérales sont relativement limitées et les recharges rapides difficiles à assumer massivement.

Il paraît donc peu réaliste de croire que l'on pourra généraliser la production de voitures emportant souvent plus d'une centaine de Kg de batteries pour réaliser en moyenne moins de 50 km par jour...

Pour permettre de répondre à la variété des besoins l'avenir semble devoir passer par **une plus grande spécialisation des véhicules qui sera compensée par des systèmes de partage.**

Les PHEV(hybrides rechargeables), dont on peut penser que les coûts vont fortement chuter dès lors que le marché deviendra mature, sont sans doute promis à un bel avenir.